

Evolución contrastada de elementos trazas (Th-U-Y-HREE) entre granitos fraccionados de tipo-I y tipo-S de la Sierra de Guadarrama: reflejo en la química de minerales accesorios

C. Villaseca, C. Pérez-Soba y J. González del Tánago

Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad CC. Geológicas, UCM, 28040 Madrid. granito@geo.ucm.es

ABSTRACT

I- and S-type granites from the Sierra de Guadarrama (Spanish Central System) display contrasting evolutionary patterns for Th, Y and REE. This chemical contrast is controlled by the behaviour of accessory phases. In felsic I-type granites the low fractionation of some phosphates (xenotime, monazite) permits the enrichment in the HFSE hosted in those accessories. Moreover, contrasts in trace element contents in accessory phases (zircon, xenotime, monazite) appear between I- and S-type granites. Th, Y and HREE contents in monazite and xenotime are lower in S-type granites compared to those in less peraluminous ones. This is reflected in lower Th/U ratios in monazites and xenotimes from S-type granites.

Key words: trace element geochemistry, accessory phases, I- and S-type granites, Hercynian Iberian Belt.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento geoquímico de los elementos trazas varía en los diferentes magmas graníticos, según sea su grado de diferenciación. De hecho, hay un marcado contraste en el comportamiento de ciertos elementos menores y trazas según el grado de peraluminosidad de la serie granítica. Así, los granitos más peralumínicos, los tipos-S, presentan mayores contenidos en P y pueden desarrollar una línea perfosfórica en los tipos más félsicos y diferenciados (Bea *et al.*, 1994; Chappell, 1999). Por el contrario, en los tipos menos peralumínicos, granitos tipo-I, el contenido en P disminuye con la diferenciación, y la menor actividad de fases fosfatadas en estos magmas permite un enriquecimiento contrastado en ciertos elementos trazas HFSE (*high field strength elements*): Th, Y, HREE, Nb (Champion y Chappell, 1992; Villaseca *et al.*, 1998; Chappell, 1999). La mayor parte de estos elementos trazas están contenidos en las fases accesorias de los granitos y no en sus minerales principales (Förster, 1998a y b; Bea, 2001).

El comportamiento fuertemente incompatible de estos elementos trazas en granitos tipo-I se ha explicado por la ausencia de cristalización de xenotima y la baja actividad de monacita en estos fundidos menos peralumínicos (Bea, 2001). No obstante, los granitos tipo-I de la Sierra de Guadarrama presentan ambos minerales en su paragénesis, por lo que se ha iniciado el estudio detallado de la caracterización y quimismo de estas fases graníticas accesorias, y su comparación con las de los granitos tipo-S. La técnica microanalítica empleada ha sido la microsonda electrónica

modelo JEOL Superprobe JXA 8900-M del CAI de Microscopía Electrónica de la UCM. Las condiciones de medida han sido 50 kV y 20 nA, con diámetros de haz entre 1 y 5 mm, y con un programa de corrección ZAF integrado.

PAUTAS DE EVOLUCIÓN QUÍMICA DE TRAZAS EN LOS GRANITOS FÉLSICOS

En general, todos los elementos mayoritarios y gran parte de los elementos trazas siguen la misma pauta de evolución geoquímica en ambas series graníticas. Así, hay una marcada disminución de Ti, Fe, Al, Ca, Mg, Mn, Ba, Sr, Zr y REE, con el grado de acidez del granito (p.ej. figuras 2 y 6 de Villaseca *et al.*, 1998). Igualmente hay un cierto enriquecimiento en Na, K, Rb, Cs, Sn y U según es más diferenciado y félsico el granito. Pero donde surgen las mayores diferencias es en los elementos químicos mencionados arriba: P y ciertos HFSE (Th, Y, HREE y, en menor grado, Nb y Ga). Sólo algunos plutones de tipo-S del sector central del Sistema Central Español tienen una tendencia perfosfórica: Pedrobernardo (Bea *et al.*, 1994) y Los Boquerones (Herreros, 1998). Por el contrario, varios plutones de la Sierra de Guadarrama de afinidad a tipos-I (La Cabrera, Navas del Marqués, Atalaya Real, y sobre todo el de La Pedriza), presentan una tendencia a enriquecerse en elementos HFSE cuando el granito tiene alrededor del 75 ± 1 % de SiO₂ (Villaseca *et al.*, 1998). De hecho, el plutón de La Pedriza en su sector central llega a tener tan altas concentraciones de estos elementos trazas que presenta un quimismo comparable al de granitos tipo-A si no fuera porque proviene claramente de magmas parentales mucho más pobres en estos elemen-

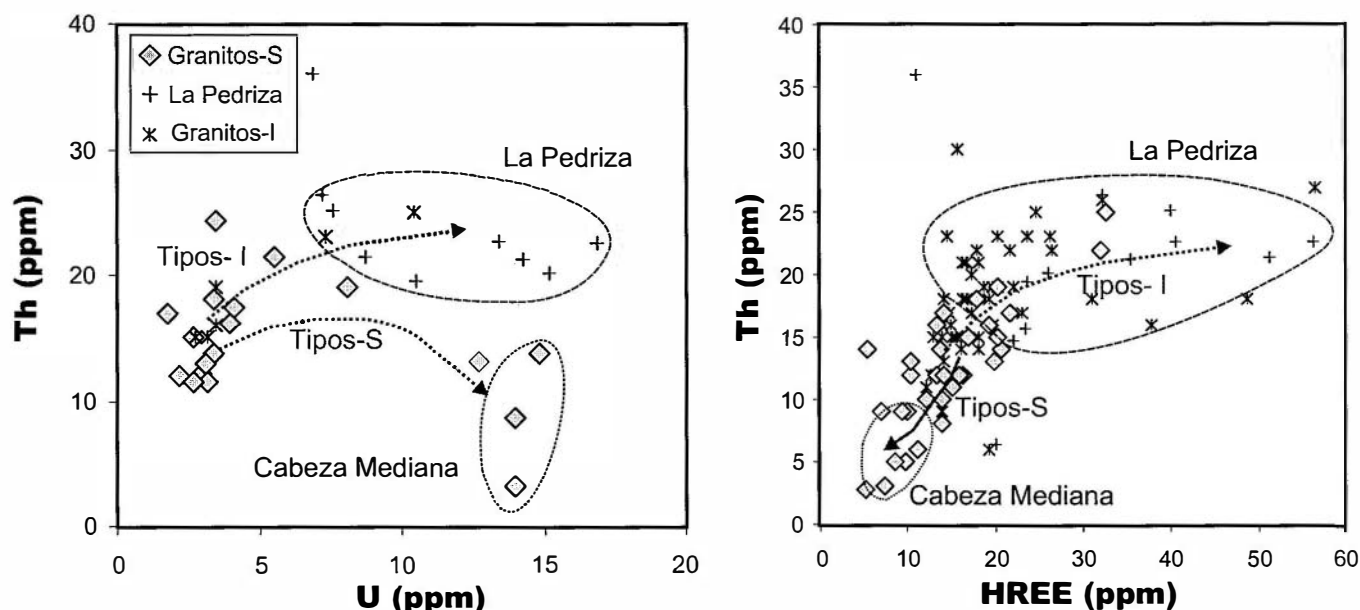


FIGURA 1. Diagramas de variación de Th-U-HREE(Y) en los granitos de la Sierra de Guadarrama. Se esquematizan las pautas de evolución magmática de los granitoides tipo-S y de los tipos-I. En ambos casos, la pauta recoge la variación química existente desde tipos granodioríticos y monzograníticos a leucogranitos o tipos félsicos.

tos y se puede confirmar su afinidad con granitos tipo-I (Pérez-Soba *et al.*, 2001).

En la figura 1 se han proyectado los diagramas U-Th y HREE-Th de los plutones mencionados, donde se observa la evolución divergente de ambas series graníticas. Los plutones tipo-I, en particular el sector más diferenciado de La Pedriza, marca un enriquecimiento combinado de U-Th y de Th-HREE (al igual que Th-Y, no representado), mientras que los granitoides más peralumínicos se empobrecen en Th-HREE-Y pero no en U. También puede observarse que ambas series parten de unos contenidos de estos elementos muy próximos entre sí y que divergen fuertemente con la diferenciación magmática. Así, ambas series parten de relaciones comparables de Th/U de 4-5 pero llegan a ser de 0,5 en los granitos más peralumínicos (p.e. plutón de Cabeza Mediana), mientras que en los tipos-I no baja de 1,2 en los granitos más diferenciados (Fig. 1).

Ciertamente los minerales más ricos en Th-U-Y-REE en las facies monzograníticas principales de los plutones estudiados, así como en los leucogranitos asociados, son fosfatos (monacita y xenotima) o allanita. También el circón (y el apatito, como demuestra Bea, 2001) son portadores importantes de estos trazas. Igualmente lo son la torita y la uraninita que de manera muy accesoria aparecen en estos plutones. En este estudio sólo hemos abordado el quimismo de monacita, xenotima y circón por ser los minerales comunes a todos los plutones estudiados, independientemente de su serie. La allanita y la torita sólo aparecen en plutones tipo-I, mientras que la uraninita no ha podido ser detectada en el plutón tipo-S de Cabeza Mediana, aunque el contenido en U de sus accesorios analizados (circón, apatito, mona-

cita, xenotima) no parece suficiente para explicar los elevados contenidos de U en dicho granito, como ya fue puesto de relieve por Brandebourger (1984).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS MINERALES ACCESORIOS PORTADORES DE TH-U-Y-REE

El estudio por microscopía electrónica combinando los modos de electrones secundarios (SE) y retrodispersados (BSE), junto a los datos de microsonda, revelan que la xenotima es un mineral presente en granitos con valores de ASI (índice de peraluminosidad) bajos, incluso menores de 1 (plutón de Atalaya Real, con valores ASI entre 0,99 y 1,01). Igualmente, los otros plutones tipo-I (La Pedriza y La Cabrera) con valores de ASI entre 1,01 y 1,06 presentan xenotima, junto a monacita y allanita. Estos datos modifican las relaciones petrográficas de accesorios descritas por Bea (2001) para granitos con variable grado de peraluminosidad (Fig. 2), pues tanto la xenotima como la monacita son minerales presentes en todos los granitos estudiados. No obstante, las estimaciones modales provisionales realizadas indican una menor proporción de estos fosfatos en los granitos tipo-I que en los más marcadamente peralumínicos (con ASI de 1,05 a 1,19).

En la figura 3 se han representado diversos gráficos UO_2 - ThO_2 y Y_2O_3 - ThO_2 de las fases accesorias analizadas (circón, monacita y xenotima), de cada uno de los plutones estudiados.

Los circones del grupo plutónico tipo-S (Alpedrete-Cabeza Mediana) muestran una evolución química muy

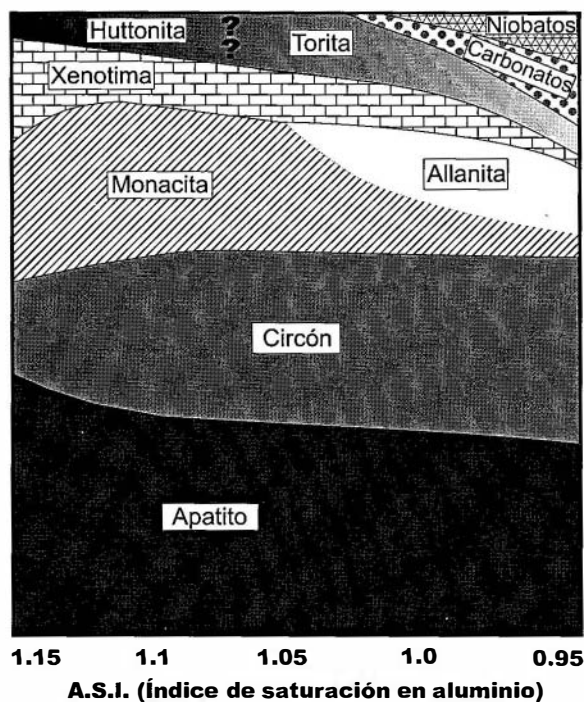


FIGURA 2. Variación estimativa de las abundancias modales relativas de minerales accesorios ricos en Th-U-Y-REE de granitos con diferente grado de peraluminosidad. ASI es el índice de saturación en aluminio definido como la relación molar de $Al_2O_3 / (CaO+K)$.

parecida a la de los circones de los plutones tipo-I aunque para rangos menores de valores (Fig. 3a). Las relaciones Th/U suelen ser menores de 0,5 en casi todos los circones

de los granitos estudiados aunque tengan elevadas concentraciones de Y_2O_3 (hasta 6% en peso, en plutones tipo-I). No obstante, algunos circones ricos en Y_2O_3 de los plutones de Atalaya Real (8,5%) y La Pedriza (10,4%), tienen mayores relaciones Th/U (2,9 y 1,3, respectivamente). La evolución química de los elementos trazas considerados es composicionalmente más corta en los circones del plutón de Cabeza Mediana que en los tipos-I, pero sigue la misma pauta o conserva las relaciones interelementales.

Las xenotimas muestran más diferencias. Así, la relación Th/U de las xenotimas de granitos tipo-S son más bajas que en algunos plutones tipo-I (p.e. La Pedriza o Atalaya Real) y de nuevo la serie de variación es más corta, careciendo de los marcados enriquecimientos de Y(HREE) y Th de xenotimas de granitos tipo-I (Fig. 3b). Algunas xenotimas de La Pedriza muestran contenidos muy altos de Y(HREE)-Th respecto a los valores conocidos de la bibliografía (Förster, 1998b), asemejándose mucho a xenotimas de granitos-A (Förster, 1998b).

La mayor parte del Th en los granitos está alojado en la monacita. De manera más acusada que en las xenotimas, las monacitas de granitos tipo-S presentan una relación más baja de Th/U que las de los tipos-I, acentuándose esta diferencia con el fraccionamiento (Fig. 3c). Igualmente, la variación mostrada en Th-Y(HREE) es mucho menor en las monacitas de los plutones tipo-S que en las de los granitos menos peraluminicos (p.e. el contenido en ThO_2 de la monacita de Cabeza Mediana no supera el 6,4 % mientras que las monacitas de Atalaya Real, La Pedriza y La Cabrera llegan al 12 %, 14,5 % y 20,3 %, respectivamente).

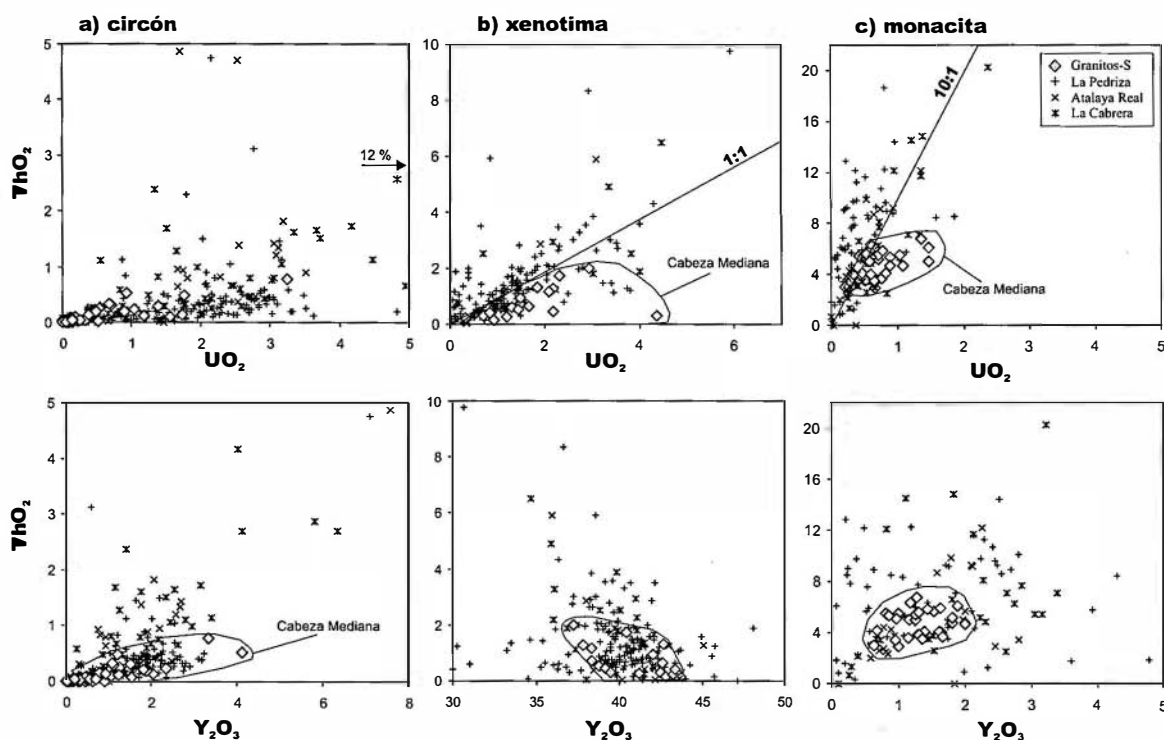


FIGURA 3. Variación composicional de Th-U-Y(HREE) en minerales accesorios de granitos de la Sierra de Guadarrama.

DISCUSIÓN

El enriquecimiento marcado en Y-HREE de los granitos tipo-I se consigue por la menor participación de xenotima en el fraccionamiento cristalino de estos magmas, como ya había sido descrito anteriormente (Villaseca *et al.*, 1998), pero no por la ausencia de su cristalización en ciertos granitos de afinidad con tipos-I (Bea, 2001). Por otro lado, el fraccionamiento combinado de allanita-monacita en granitos de tipo-I no reduce tan significativamente el contenido en Th de estos granitos como el fraccionamiento exclusivo de monacita en los tipos-S (Fig. 9 en Villaseca *et al.*, 1998). La menor concentración de P y de LREE (por la competencia con allanita) reduciría la actividad de monacita en granitos tipo-I.

Esta evolución hacia menores contenidos en Th-Y-HREE en los granitos tipo-S conduce a la formación de monacitas con relaciones Th/U bajas y casi constantes (4-5 en vez de 5-10 en tipos-I) y de xenotimas también con relaciones menores de Th/U que en granitos tipo-I (0,2-0,7 en vez de 0,4-1,7). Además, estos minerales en los granitos-S muestran rangos composicionales mucho más limitados en los elementos trazas considerados. Estas pequeñas diferencias en la geoquímica de Th-U-Y-HREE de monacitas y xenotimas de series graníticas distintas han sido descritas en algún otro sector hercínico europeo (Förster, 1998a y b), aunque la bibliografía actual sobre esta temática es aún escasa. De cualquier forma, los minerales accesorios principales de los granitos reflejan la evolución composicional en Th-U-Y-HREE del magma granítico, especialmente en sus términos más félsicos y diferenciados.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Alfredo Fernández Larios su inestimable ayuda en las tareas micro-analíticas, así como a Enrique Arranz y al comité editorial sus comentarios y correcciones que han mejorado el manuscrito original. Este trabajo ha sido subvencionado por el proyecto DGICYT del Ministerio de Ciencia y Tecnología de España nº BTE2000-0575.

REFERENCIAS

- Bea, F. (2001): The influence of accessory minerals in the geochemistry of granite rocks. En: *Actas III Congreso Ibérico de Geoquímica* (M. Lago, E. Arranz y C. Galé, Eds.), 17-33.
- Bea, F., Pereira, M.D., Corretgé, L.G. y Fershtater, G.B. (1994): Differentiation of strongly peraluminous, per-phosphorus granites: The Pedrobernardo pluton, central Spain. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 2609-2627.
- Brandebourger, E. (1984): *Les granitoides hercyniens tardifs de la Sierra de Guadarrama (Système Central Espagne)*. Pétrographie et géochimie. PhD Thesis, Univ. de Lorraine, 209 p.
- Champion, D.C. y Chappell, B.W. (1992): Petrogenesis of felsic I-type granites: an example from northern Queensland. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 83: 115-126.
- Chappell, B.W. (1999): Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites. *Lithos*, 46: 535-51.
- Förster, H.-J. (1998a): The chemical composition of REE-Y-Th-U-rich accessory minerals in peraluminous granites of the Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany. Part I: The monazite-(Ce)-brabantite solid solution series. *American Mineralogist*, 83: 259-272.
- Förster, H.-J. (1998b): The chemical composition of REE-Y-Th-U-rich accessory minerals in peraluminous granites of the Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany. Part II: Xenotime. *American Mineralogist*, 83: 1302-1315.
- Herreros, V. (1998): *Petrología y geoquímica de los granitoides del sector oriental de Gredos (Sistema Central Español)*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 384 p.
- Pérez-Soba, C., Reyes, J. y Villaseca, C. (2001): El leucogranito de La Pedriza: un caso de criptozonación y fraccionamiento extremo en la Sierra de Guadarrama. En: *Actas III Congreso Ibérico de Geoquímica* (M. Lago, E. Arranz y C. Galé, Eds.), 405-409.
- Villaseca, C., Barbero, L. y Rogers, G. (1998): Crustal origin of Hercynian peraluminous granitic batholiths of central Spain: petrological, geochemical and isotopic (Sr, Nd) constraints. *Lithos*, 43: 55-79.